心理学报 2022, Vol. 54, No. 3, 221–235
Acta Psychologica Sinica

https://doi.org/10.3724/SP.J.1041.2022.00221

预期对注意的影响受制于被预期主体是目标还是分心物*

周子暖 陈颜璋 傅世敏

(广州大学教育学院心理系/脑与认知科学中心, 广州 510006)

摘 要 以往研究表明, 预期机制和注意机制都能促进感知行为, 但两者以何种方式共同作用于感知行为仍然存在争议, 特别是, 对于预期主体在其中的作用尚不清楚。本研究采用空间提示以及视觉搜索相结合的范式, 通过 4 个实验, 考察了当被试对目标进行预期以及对分心物进行预期时, 空间预期对空间注意效应的不同影响。结果显示：(1)当目标为预期主体时, 预期对注意效应具有调节作用; (2)当分心物为预期主体时, 预期与注意的作用独立; (3)当目标为预期主体时, 通过刺激数增加而导致的任务难度变化不影响预期和注意之间的关系。这表明, 空间预期是否影响空间注意效应受制于预期主体——当预期主体为目标时, 预期和注意两者交互式地影响感知行为; 当预期主体为分心物时, 预期和注意独立地影响感知行为; 而且, 预期和注意之间的关系不受任务难度影响。

关键词 视觉预期, 视觉注意, 空间提示, 视觉搜索, 外周提示
分类号 B842

1 引言

视觉系统经常处于信息冗杂的环境中, 接收着大量信息, 尽管大脑的处理能力有限, 但却能够通过注意机制高效筛选并处理所需信息。近几十年来, 越来越多研究表明, 视觉感知并不是一个简单的信息输入过程, 而是一个跨越多个大脑皮层并相互作用的过程, 在此过程中, 注意机制和预期机制都对信息快速加工处理起着重要的作用(Carrasco, 2011; Clark, 2013; Gilbert & Li, 2013; Kok et al., 2013; Kok et al., 2017; Yantis & Jonides, 1984; Zareian et al., 2020)。

有研究者认为, 在早期的研究中并未着力区分预期和注意对感知的影响(de Lange et al., 2018; Rungratsameetaweemana & Serences, 2019; Summerfield & de Lange, 2014)。例如, 在很多使用 Posner 空间提示范式(Posner, 1980)及其变式的研究中, 就存在预期效应和注意效应混淆的嫌疑——空间提示本来就带有高于随机概率的有效性, 难以区分注意效应的产生是由于提示本身的凸显性(外周提示)、引导性(中央提示)还是由于提示的高有效性。随着近年来对预期机制研究的兴起, 大量研究证明了注意和预期是两个不同的机制。如, Wyart 等人(2012)从信号检测论视角利用反向关联技术(reverse-correlation technique)对预期和注意进行了研究, 发现注意主要通过抑制信号处理过程中的内部噪声来影响感知, 而预期主要通过影响信号选择单元的基线活动从而作用于感知, 说明两者作用于感知的机制并不相同; 也有研究者使用大脑相关信号(相关的 ERP 成分、BOLD 信号)对预期和注意进行研究, 发现了注意能够影响早期信息加工过程, 而预期主要影响信息加工处理的后期阶段(Rungratsameetaweemana et al., 2018), 并且有研究观察到了注意和预期对大脑相关信号(相关的 ERP 成分：N1、N1pc, BOLD 信号)的影响并不相同, 注意能使相关信号增强, 而预期却使相关信号衰减, 研究者们将此称为注意增

收稿日期: 2021-07-21
* 国家自然科学基金资助项目(31970993)。
通信作者: 傅世敏, E-mail: fusm@gzhu.edu.cn

益效应和预期衰减效应(Alink et al., 2010; Kok et al., 2012; Marzecova et al., 2017)，这些研究均说明了两者并不是完全相同的神经机制；再者，Jiang 等人(2013)通过对 fMRI 实验采集到的 BOLD 信号进行了多体素模式分析(the multivoxel pattern analysis, MVPA)，发现由注意维度生成的分类器并不能对预期条件产生很好的分类效果，从侧面说明了两者的机制并不完全相同，并且实验结果发现，在注意条件下，由预期维度生成的分类器区分预期条件的精确率高于非注意条件下生成的分类器，该研究认为注意能够极大地提高预测误差的精度。

上述研究表明，预期和注意并不是同一种机制(Jiang et al., 2013; Kok et al., 2012; Marzecova et al., 2017; Rungratsameetaweemana et al., 2018; Wyart et al., 2012)，但关于两者如何作用于感知的问题仍然悬而未决：两者究竟是独立地还是交互地起作用？独立或交互的具体表现方式是什么？有不少研究支持预期和注意是以交互方式影响感知的(Kok et al., 2012; Marzecova et al., 2017; Smout et al., 2019; Jiang et al., 2013; Zuanazzi & Noppeney, 2019)，例如 Kok 等人(2012)的一项利用空间提示范式的 fMRI 研究为了防止由于定义不清而带来注意和预期效应混淆的情况，将预期被定义为任务无关的目标空间概率，注意则被定义为任务相关但概率无关的中央箭头提示，被试的任务为仅当目标出现在中央箭头指向一侧时做出反应，并且中央箭头提示的有效性是完全随机的。结果显示，注意和预期在初级视觉皮层(V1)检测到的 BOLD 信号具有交互作用：Kok 等人将这种交互作用解释为注意逆转了预期衰减，具体表现为在非注意条件时，预期条件下的 BOLD 信号小于非预期条件下的 BOLD 信号，即信号预期衰减；而在注意条件时，预期条件下的 BOLD 信号大于非预期条件下的 BOLD 信号。Marzecova 等人(2017)利用时间分辨率更高的 ERP 技术，使用与 Kok 等人相同的实验范式进行了研究，并在 N1 波峰后的一段时间窗口发现了注意和预期的交互作用，但其交互模式与前人的研究并不一致：在非注意的条件下，有明显的预期效应，而在注意条件下，并无明显的预期效应。该研究为预期和注意可交互影响感知提供了具有高时间精度的证据，但却得出与前人不一致的结论，研究者们认为这两种不同的交互模式的发现可能与时间进程相关。除了在空间上对两者的关系进行探讨，Smout 等人(2019)使用 oddball 范式的变式进行的一项 ERP 研究，对基于特征的注意进行了相关讨论，同样得出了注意和预期在感知过程中具有相互作用，并且交互模式与 Marzecova 等人(2017)发现的交互模式相似。另外，由于预期和注意并不仅限于视觉，为了更好地正交化定义预期和注意，Jiang 等人(2013)利用不同类别材料进行了一项跨视听通道的 fMRI 研究，并进行了多体素模式分析(MVPA 分析)，发现预期和注意交互地影响着感知，并且注意能够提高预测误差的精度，即由预期维度所生成的分类器在注意条件时区分预期和非预期情况的精确度要高于非注意条件。他们在后续研究中进一步发现，同一物体某维度特征的预测误差能够扩散到其他维度特征上，即预测误差能够在同一物体的不同维度上进行传递(Jiang et al., 2016)。

尽管有不少研究支持预期和注意是交互影响感知的，但也有研究并不支持这种观点(Cheadle et al., 2015; Zuanazzi & Noppeney, 2018)。例如 Cheadle 等人(2015)从信号检测论的视角出发进行研究，通过模型计算决策内核(决策内核是一种反映决策反应过程的内部信号处理变化的指标)，发现在精细识别的过程中，当刺激可预期时，决策内核会发生变化，并且这种决策内核的变化独立于注意。Zuanazzi 和 Noppeney (2018)的一项跨通道研究，通过不同的方式操控预期，发现了当预期对象为非目标时，预期和注意是以可加的方式影响着感知的，而当预期对象为目标时，注意和预期则以交互的方式影响着感知。这都提示预期和注意有独立作用于感知的可能。

综合上述研究结果，关于预期和注意两者是独立作用于感知还是交互作用于感知目前仍然没有一致的结论。究其原因如下：首先，操作性定义不明。预期和注意的操作性定义不明，且在许多研究中存在两者操作性定义混淆的嫌疑(Rungratsameetaweemana & Serences, 2019; Summerfield & de Lange, 2014; Summerfield & Egner, 2016)。其次，策略问题。由于在以往关于空间注意和空间预期的研究中，大多都在左右两侧同时操纵两者，使得被试可能使用策略把更多的注意放在高概率的预期一侧，从而带来混淆。再者，任务相关性差异。大多数的研究使用了中央提示来操纵注意(Kok et al., 2012; Marzecova et al., 2017)，并将其与任务相关，此时预期与任务无关而注意与任务相关，预期和注意的任务相关性并不相同，导致两者对于感知作用的不平衡。最后，预期主体问题。预期的主体并不仅是目标，也有可

能是分心物。在视觉搜索的研究中，关于分心物的研究是很重要的一部分(Petilli et al., 2020; Wang et al., 2019)，但在以往研究着重于讨论对目标的预期而较少讨论对分心物的预期(Li et al., 2020; van Moorselaar & Slagter, 2019)。

本研究主要聚焦于探讨在不同预期主体的情况下，预期和注意以何种方式作用于感知。为解决现存问题，本研究做了以下改进：第一，本研究考察外周提示所诱导的注意与预期之间的关系。中央提示所诱发的注意为自上而下的内源性注意，而外周提示所诱发的注意为自下而上的外源性注意，关于自上而下因素能否影响自下而上的注意效应一直都是被关注的问题，这也许会涉及到目标驱动理论以及刺激驱动理论之争——目标驱动理论认为，凸显刺激所诱发的注意效应会受到自上而下因素(任务相关性等)的调节，而刺激驱动理论认为凸显刺激的注意捕获不受自上而下因素的影响和控制(张帆 等, 2021; Gaspelin & Luck, 2018)。本研究主要研究外周提示诱导的注意效应与概率相关的预期效应之间的关系。其中，预期同样作为一种强烈的自上而下因素，其是否影响自下而上的注意效应仍然是个未解的问题。第二，本研究在分离预期和注意效应上进行了一定的范式创新。本研究使用双外周提示的形式，将视觉空间进行划分，分别在左右区域和上下区域操控预期和注意，使得两者共同对刺激位置产生影响，但却相互独立。这样能避免以往的研究中由于没有正交化定义预期和注意而带来两者效应混淆的可能(Rungratsameetaweemana & Serences, 2019; Summerfield & de Lange, 2014; Summerfield & Egner, 2016)。第三，本研究采用了视觉搜索和辨别相结合的任务，而预期和注意都被定义在搜索任务上，两者都与搜索任务直接关联而与辨别任务并不关联，这就使得能在同一通道、同一维度相对平衡地探讨两者的关系。第四，本研究关注了预期主体的作用，直接探讨目标预期和分心物预期两者与注意的关系，这在以往研究中很少见。

根据感知实际是大脑各个层级之间相互作用而成的观点，我们预测在反应时上能观察到预期和注意之间的交互关系。并且，由于视觉搜索过程中目标促进和分心物抑制是通过不同的神经通路实现的(van Moorselaar & Slagter, 2019)，因此，预期与注意的关系可能受制于预期主体是目标还是分心物。以往研究表明，自上而下的因素能调节注意效应(Su et al., 2020; Becker et al., 2017)，因此我们预测，当预期主体为目标时，两者呈交互式地影响感知。而且由于预期条件下外界输入刺激与大脑预测模型相符，预测模型并不需要更新，从而预期精度更高，可能会使得注意提示的效率也相对较高，所以我们猜测预期条件下的注意效应大于非预期条件下的注意效应；而由于对分心物的抑制与对目标的识别由不同的神经通路实现，因此我们预测，当预期主体为分心物时，两者呈独立式地影响感知。本研究将有助于我们更准确地理解预期和注意之间的关系及影响两者关系的因素。

2　实验 1：纵向预期和横向注意对目标与分心物的影响

在实验 1 中，利用左右视野呈现的外周提示操纵外源性注意，利用刺激呈现的上下概率信息操纵预期，以考察预期和注意对行为反应的影响。预计在实验 1 中能观察到预期和注意之间的交互作用，支持预期和注意共同作用于感知的观点，并且预期能调节注意效应，支持自上而下因素在一定程度上能调节自下而上因素的观点。

2.1　方法

2.1.1　被试

共有 25 名被试参与了实验 1，年龄范围为 17~27 岁，平均年龄为 20.24 ± 2.13 岁。其中一名被试由于对指导语理解错误而被排除，共有 24 个被试的有效数据。被试均为在校大学生、右利手、视力或矫正视力正常。所有被试自愿参加实验，均签署被试知情同意书，并获得金钱报酬或所修课程学分。

2.1.2　刺激

实验刺激(见图 1)为视角 3.9° × 2.4°的红色矩形(CIE: 0.64/0.33, 21.26 cd/m²)和绿色矩形(CIE: 0.3/0.6, 16.44 cd/m²)，矩形边缘到视觉中心的距离为 5.18°，矩形内有一个 0.57° × 0.57°大小的乘号或加号；实验中还会出现外周提示，为 4 个白色正方形(CIE: 0.31/0.33, 100 cd/m²)组合形成的空心图形，视角为 1.2° × 1.2°。

2.1.3　实验设计

采用 2 (注意：注意 vs. 非注意) × 2 (预期：预期 vs. 非预期) × 2 (预期主体：目标 vs. 分心物)的完全被试内实验设计。其中注意和预期为同一个 block 内操控的变量，预期主体为 block 之间操控的变量。注意水平(注意 vs. 非注意)通过左右空间位置操控，注意条件下外周提示与目标出现位置一致，非注意条件下外周提示与目标出现位置不一致。预

期水平(预期 vs. 非预期)通过上下位置操控，一半被试被告知上方为预期位置，另一半被试被告知下方为预期位置，刺激有 80%的概率出现在预期位置，有 20%的概率出现在非预期位置。预期主体(目标 vs. 分心物)即目标或分心物具有高空间概率。当预期主体为目标时，明确告知被试目标出现在上方或下方的概率而分心物则随机出现于上方或下方；当预期主体为分心物时，明确告知被试分心物出现在上方或下方的概率而目标则随机出现于上方或下方。因变量为反应时和正确率。

2.1.4 实验流程

实验在灯光昏暗并且无噪音的行为实验室中进行。实验程序在 E-prime 上编写、运行，刺激呈现在 27 英寸的液晶显示器上。屏幕分辨率为 1024 × 768 像素，刷新率为 60 Hz。被试头部距离屏幕大约 60 cm。

实验流程如图 1 所示。实验开始时在屏幕中央呈现 500 ms 注视点，随后屏幕左侧或右侧会随机垂直呈现两个白色提示，呈现时间为 50 ms。提示消失后，注视点继续保持 150 ms，随后呈现刺激屏 1000 ms。刺激屏中每次出现一个红色矩形和一个绿色矩形，两个矩形内均随机带有一个黑色“+”或“×”。在预期主体为目标的组别，目标颜色矩形有 80%的概率出现在预期的两个位置之一(一半被试预期目标矩形出现在上方两个位置，另一半被试预期目标矩形出现在下方两个位置)，而分心物矩形在上下位置出现的概率各占 50%；在预期主体为分心物的组别，分心物矩形将会有 80%到的概率出现在预期的两个位置之一(一半被试预期分心物矩形出现在上方两个位置，另一半被试预期分心物矩形出现在下方两个位置之一)，而目标矩形在上下位置出现的概率各占 50%。被试任务是对目标颜色矩形内的符号做辨别反应，如为“+”则按 F 键，如为“×”则按 J 键。每部分实验开始之前先要求被试进行 20 个试次的练习。正式实验中，每个被试将会先后完成目标预期组与分心物预期组各 6 组(每组 100 个试次)，组别类型顺序在被试间平衡。

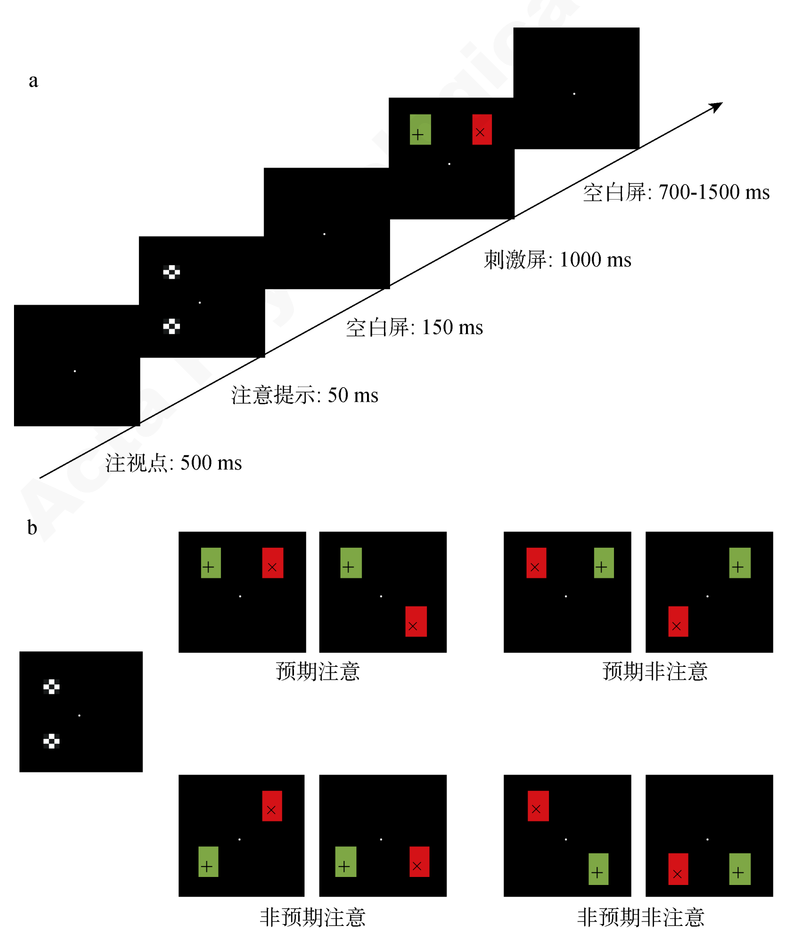


图 1 实验 1 流程图和实验条件示意图。a 为实验 1 流程图，在实验过程中先呈现 500 ms 中央注视点，接着在左侧或右侧垂直呈现两个方格提示，提示消失后在刺激屏呈现一个目标矩形与一个分心物矩形，被试的任务为对目标矩形内的符号做辨别反应；b 为实验条件的列举，该例子中，预期主体为目标，目标为绿色矩形，分心物为红色矩形，注意提示出现在左侧，且指导语引导被试预期上方空间(目标有 80%的概率出现在上方两个位置之一)。

2.2 结果

根据以往研究(Egly et al., 1994), 反应错误和反应时小于 150 ms 的试次以及反应时在 3 个标准差以外的试次被剔除, 删除数据占全部数据的 13.9%。对反应时进行 2 (预期主体: 目标 vs. 分心物) × 2 (预期: 预期 vs. 非预期) × 2 (注意: 注意 vs. 非注意)的重复测量方差分析, 结果显示, 预期的主效应显著, $F(1, 23) = 139.20$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.82$, 预期条件下的反应时快于非预期条件下的反应时(602 ± 10 ms vs. 639 ± 11ms); 注意的主效应显著, $F(1, 23) = 10.71$, $p = 0.004$, $\eta_p^2 = 0.32$, 注意条件下的反应时快于非注意条件下的反应时(616 ± 11 ms vs. 624 ± 12 ms); 预期主体和预期的交互作用显著, $F(1, 23) = 90.67$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.80$, 说明预期锚定在不同的主体时, 预期所起的作用并不相同; 预期主体、预期、注意三重交互作用显著, $F(1, 23) = 13.67$, $p = 0.001$, $\eta_p^2 = 0.37$, 说明预期主体不同, 预期和注意的关系有所不同。另外, 对准确率进行相应的方差分析, 仅发现了预期的主效应显著, $F(1, 23) = 11.22$, $p = 0.003$, $\eta_p^2 = 0.32$, 结合准确率和反应时数据, 不存在速度−准确性权衡。

由于三重交互作用显著, 说明当预期主体锚定在不同的主体上, 预期和注意的关系并不相同, 因此将预期主体为目标和分心物的数据进行拆分, 分别进行 2 (预期: 预期 vs. 非预期) × 2 (注意: 注意 vs. 非注意)的重复测量方差分析(见图 2)。进一步分析表明, 当对目标进行预期时, 预期的主效应显著, $F(1, 23) = 148.90$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.87$, 预期条件下的反应时快于非预期条件下的反应时(585 ± 11 ms vs. 652 ± 14ms), 注意的主效应显著, $F(1, 23) = 9.95$, $p = 0.004$, $\eta_p^2 = 0.30$, 注意条件下的反应时快于非注意条件下的反应时(615 ± 11 ms vs. 623 ± 12 ms), 预期和注意的交互作用显著, $F(1, 23) = 14.30$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.38$, 表现为, 预期条件下的注意效应大于非预期条件下的注意效应, 预期条件下, 有显著的注意效应, $t(23) = -5.90$, $p < 0.001$, MD = 16 ms, 而在非预期条件下, 注意与非注意条件下反应时并无显著差异, $t(23) = 0.66$, $p = 0.52$, MD = −2 ms; 当对分心物进行预期时, 预期的主效应显著, $F(1, 23) = 6.23$, $p = 0.020$, $\eta_p^2 = 0.21$, 预期条件下的反应时快于非预期条件下的反应时(619 ± 10 ms vs. 626 ± 11 ms), 注意的主效应显著, $F(1, 23) = 7.16$, $p = 0.013$, $\eta_p^2 = 0.24$, 注意条件下的反应时快于非注意条件下的反应时(618 ± 10 ms vs. 627 ± 11 ms), 预期和注意的交互作用并不显著, $F(1, 23) = 3.15$, $p = 0.089$, $\eta_p^2 = 0.121$, 表明两者独立地对反应时产生影响[1]。

2.3 讨论

在实验 1 中, 我们观察到了预期主体×注意×预期的三重交互作用, 表明当预期主体不同时, 预期和注意的确是以不同的方式影响着感知。已有研究表明, 在视觉搜索过程中, 对目标的识别作用和对分心物的抑制作用是通过不同的神经机制完成的(van Moorselaar & Slagter, 2019), 因此, 目标预期以及分心物预期对感知的影响可能也会因此而不同, 导致当预期主体不同时, 预期和注意以不同的方式影响着感知。

另外, 当预期主体为目标时, 我们可以观察到预期和注意呈交互式地影响感知, 主要表现为在预期条件下注意效应更大, 而在非预期条件下, 并未出现显著的注意效应。这可以解释为预期作为一种自上而下的因素, 可以调节自下而上的外源性注意。在以往的研究中, 也曾发现过预期和注意以交互的方式影响感知(Kok et al., 2012; Marzecova et al., 2018; Marzecova et al., 2017), 但交互模式却与本实验并不相同, 这可能是由于所使用的技术手段以及对预期和注意的操控不完全相同所导致的。本实验所观察到的交互作用符合预测编码理论模型(Feldman & Friston, 2010; Heilbron & Chait, 2018; Rauss et al., 2011)——在预期条件下, 产生的预测误差较小, 预期促进了注意效应的产生; 而在非预期条件下, 产生了较大的预测误差, 缩减了注意效应。

最后, 当预期主体为分心物时, 预期条件下的注意效应大小与在非预期条件下的注意效应大小并没有显著的差异, 即, 注意和预期呈独立式地对感知产生促进作用, 这可能是由于关于分心物和目标的感知处理是通过不同的机制完成所导致的。另外, 尽管仅对分心物进行预期, 预期也能对行为反应产生促进作用, 这与一项最近的研究相符, 即分心物上的预期信息也能对感知行为产生影响(Moorselaar et al., 2021)。

---

[1] 为了进一步评估注意和预期在锚定分心物时的交互作用, 将数据纳入同样的 2 × 2 贝叶斯重复测量方差分析, 结果显示代表交互作用的 BF_{01} 为 1.43, 表明数据有 1.43 倍的证据支持两者对反应时的影响相互独立。

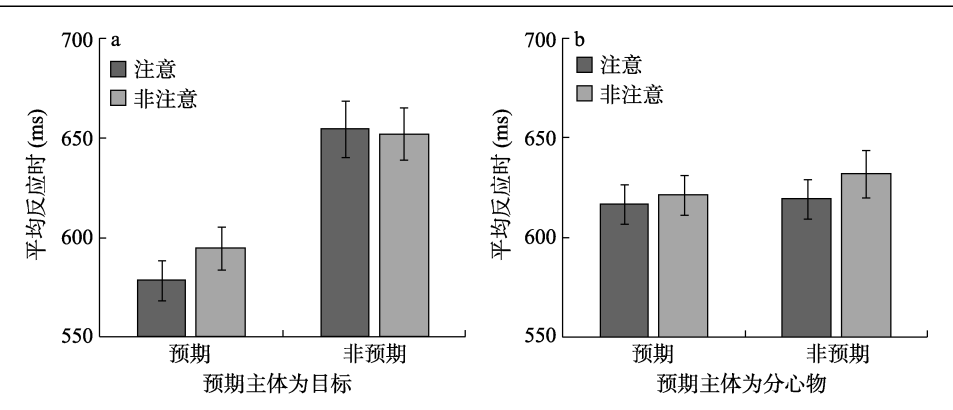


图 2 a. 对目标预期时预期和注意对反应时的交互影响; b. 对分心物预期时预期和注意对反应时的独立影响。

3 实验 2：横向预期和纵向注意对目标与分心物的影响

以往有研究表明，空间注意的水平转移和垂直转移存在差异(Rafal et al., 1988)。在实验 1 中，注意在左右空间区域操控，而预期在上下空间区域操控，为了进一步对实验 1 的结果进行重复验证，在实验 2 中，利用上下视野呈现的外周提示操纵外源性注意，利用刺激呈现的空间左右概率信息操纵预期，以考察两者对行为反应时的影响。预计实验 2 能重复实验 1 的结果，即观察到预期和注意之间的交互作用，支持预期和注意共同作用于感知的观点，并且预期能调节注意效应，支持自上而下因素在一定程度上能调节自下而上的影响的观点。

3.1 方法

3.1.1 被试

共有 24 名被试参与了实验 2，年龄范围为 18~22 岁，平均年龄为 19.25 ± 1.29 岁，被试均为右利手、视力或矫正视力正常。所有被试自愿参加实验，均签署被试知情同意书，并获得金钱报酬或所修课程学分。

3.1.2 设备和刺激

同实验 1。

3.1.3 实验设计

与实验 1 不同之处在于在实验 2 中通过上下空间位置操控注意，通过左右空间位置操纵预期，其他同实验 1。为 2 (注意：注意 vs. 非注意) × 2 (预期：预期 vs. 非预期) × 2 (预期主体：目标 vs. 分心物)的完全被试内实验设计。

3.1.4 实验流程

实验流程与实验 1 基本相同，唯一的不同在于注视点之后白色提示会随机(有效性：50%)水平呈现(见图 3)。而在刺激屏，预期主体为目标的组别中，目标有 80%的概率出现在被预期的两个位置之一(一半被试预期目标矩形出现在左侧两个位置，另一半被试目标预期矩形出现在右侧两个位置)，在预期主体为分心物的组别，分心物矩形将会有 80%到的概率出现在预期的两个位置之一(一半被试预期分心物矩形出现在左侧两个位置，另一半被试预期分心物矩形出现在右侧两个位置之一)。

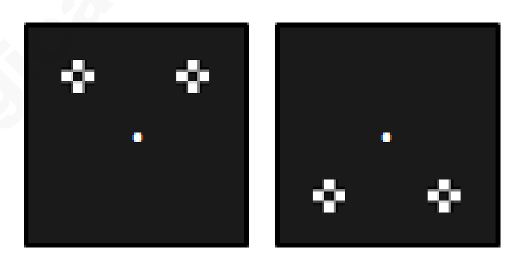


图 3 实验 2 注意提示示意图

注：在实验 2 中，注意提示在屏幕上方或下方水平随机呈现，通过指导语引导被试对左侧两个位置或右侧两个位置进行预期。

3.2 结果

反应错误的试次和反应时小于 150 ms 的试次以及反应时在 3 个标准差以外的试次被剔除，删除数据占全部数据的 14%。对反应时进行 2 (预期主体：目标 vs. 分心物) × 2(预期：预期 vs. 非预期) × 2 (注意：注意 vs. 非注意)的重复测量方差分析，预期的主效应显著，$F(1, 23) = 100.40$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.81$，表现为预期条件下的反应时短于非预期条件下的反应时(619 ± 10 ms vs. 647 ± 11 ms)；注意的主效应不显著，$F(1, 23) = 1.29$, $p = 0.267$, $\eta_p^2 = 0.05$，注意条件下与非注意条件下的反应时并无显著差异(635 ± 11 ms vs. 631 ± 11 ms)，这与实验 1 的结果不一致；预期主体与预期的交互作用显著，$F(1, 23) = 24.64$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.52$，这表明当预期锚定在不同的主体上时，预期所起的作用并不相同；预期主体，预期，注意的三重交互作用显著，$F(1, 23) =$

4.96, p = 0.036, η_p^2 = 0.18, 这表明, 当预期主体不同时, 预期和注意以不同的方式影响着视觉行为。另外, 对准确率进行相应的方差分析, 仅发现了预期的主效应显著, $F(1, 23) = 45.88, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.67$, 结合准确率和反应时数据, 不存在速度–准确性权衡。

由于三重交互作用显著, 将预期主体为目标和分心物的数据进行拆分, 分别进行 2 (预期：预期 vs. 非预期) × 2 (注意：注意 vs. 非注意)的重复测量方差分析(见图 4)。进一步分析表明, 当对目标进行预期时, 预期的主效应显著, $F(1, 23) = 80.05, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.78$, 预期条件下的反应时快于非预期条件下的反应时(606 ± 11 ms vs. 652 ± 11 ms), 注意的主效应不显著, $F(1, 23) = 0.64, p = 0.433, \eta_p^2 = 0.027$, 注意条件下和非注意条件下的反应时并无差异(631 ± 10 ms vs. 628 ± 11 ms), 预期和注意的交互作用不显著, $F(1, 23) = 2.35, p = 0.139, \eta_p^2 = 0.09$; 而当对分心物进行预期时, 预期的主效应显著, $F(1, 23) = 12.04, p = 0.002, \eta_p^2 = 0.34$, 预期条件下的反应时快于非预期条件下的反应时(631 ± 11 ms vs. 643 ± 12 ms), 注意的主效应不显著, $F(1, 23) = 1.30, p = 0.266, \eta_p^2 = 0.054$, 注意条件下与非注意条件下的反应时并无显著差异(635 ± 12 ms vs. 639 ± 11 ms) ,预期和注意的交互作用也不显著 $F(1, 23) = 2.31, p = 0.14, \eta_p^2 = 0.09$。

3.3　讨论

实验 2 观察到了预期主体、预期、注意的三重交互作用显著, 这与实验 1 相一致, 说明当预期锚定的主体不同时, 预期和注意是以不同的方式影响着视觉感知行为的。但实验 2 并未像设想一样, 观察到注意的主效应以及当预期主体为目标时预期和注意的交互作用。与实验 1 的重要不同是, 实验 2 并没有显著的注意主效应。这也许是与注意的生理机制有关, 由于实验 2 中双提示同时跨左右视野出现, 同时激活了左右脑半球, 以往有研究指出, 左右视野的注意转移比上下视野的注意转移更有效率(Rafal et al., 1988), 这可能导致实验 2 没有产生注意效应以及没有出现预期主体为目标时注意和预期两者的交互作用。我们将通过实验 3 对此进行进一步检验。

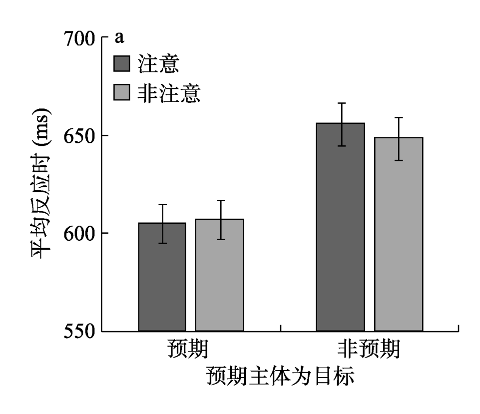
4　实验 3：控制左右视野后的预期和注意对目标与分心物的影响

我们猜测实验 2 中注意效应的消失是由于外周双提示跨左右视野呈现, 因此设计了实验 3。在实验 3 中, 利用在左上和右下或者右上和左下视野进行外周双提示操纵外源性注意(见图 5), 利用组次间概率信息操纵预期(当注意利用左上和右下空间操控时, 预期利用右上和左下空间操控; 当注意利用右上和左下空间操控时, 预期利用左上和右下空间操控), 以考察两者对行为反应时的影响。这个设计正好可以避免注意提示跨左右视野的问题, 注意双提示总是有一个在竖直中线上呈现, 而另一个在左边或右边呈现, 注意双提示总是在假想坐标系旋转 45°后的相邻两个象限出现, 从而避免了双外周提示跨视野呈现的情况。而且, 注意和预期的空间操控仍然保持正交关系。实验假设是, 能观察到预期和注意之间的交互作用, 并且预期能调节注意效应。

4.1　方法

4.1.1　被试

共有 26 名被试参与实验 3, 年龄范围为 17~21 岁, 平均年龄为 19.48 ± 0.98 岁, 均为右利手。所有被试自愿参加实验, 均签署被试知情同意书, 并获得金钱报酬或所修课程学分。共两名被试被剔除数据, 一名被试因为视力不符合要求而被剔除, 另一名因没完成实验全程而被剔除, 共 24 名被试的数据被纳入分析。



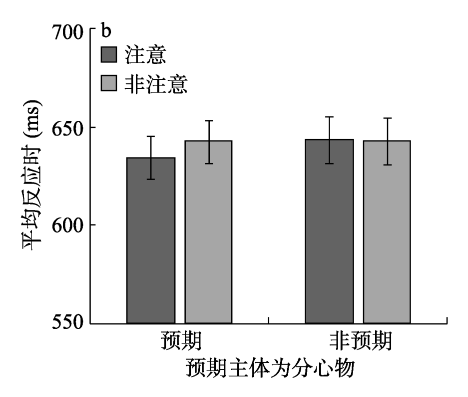


图 4　a. 实验 2 对目标预期时预期和注意对反应时的影响; b. 实验 2 对分心物预期时预期和注意对反应时的影响

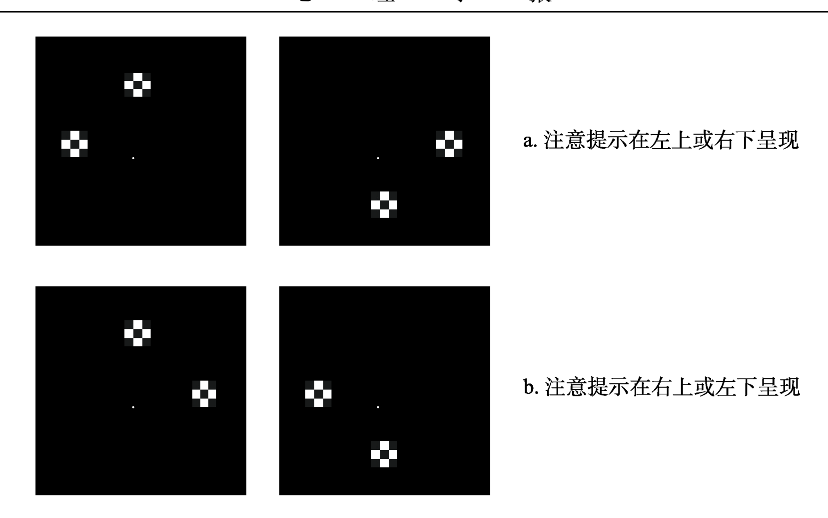


图 5 注意提示示意图。a. 当注意提示在左上或右下呈现，那么指导语引导被试预期右上或左下位置；b. 当注意提示在右上或左下出现，那么指导语引导被试预期左上或右下位置。

4.1.2 设备和刺激

同实验 1。

4.1.3 实验设计

与实验 1 不同之处在于在实验 3 中通过左上和右下(或右上和左下)空间位置操控注意，而通过右上和左下(或左上和右下)空间位置操纵预期，其他皆与实验 1 相同。实验 3 为 2 (注意：注意 vs. 非注意) × 2 (预期：预期 vs. 非预期) × 2 (预期主体：目标 vs. 分心物)的完全被试内实验设计。

4.1.4 实验流程

实验流程与实验 1 大致相同，唯一的不同在于注视点之后白色占位符提示会随机在屏幕对侧两象限倾斜呈现(左上和右上或左下和右下)。

4.2 结果

反应错误的试次和反应时小于 150 ms 的数据以及反应时在 3 个标准差以外的试次被剔除，删除数据占全部数据的 13.71%。对反应时进行 2 (预期主体：目标 vs. 分心物) × 2 (预期条件：预期 vs. 非预期) × 2 (注意条件：注意 vs. 非注意)的重复测量方差分析，发现预期的主效应显著，$F(1, 23) = 56.58$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.71$，表现为预期条件下的反应时短于非预期条件下的反应时(586 ± 10 ms vs. 611 ± 11 ms)；注意的主效应显著，$F(1, 23) = 9.28$, $p = 0.006$, $\eta_p^2 = 0.29$，表现为注意条件下的反应时短于非注意条件下的反应时(595 ± 11 ms vs. 602 ± 10 ms)；预期主体和预期的交互作用显著，$F(1, 23) = 31.14$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.58$，表明当预期主体不同时，预期产生作用的方式不同；预期和注意的交互作用显著，$F(1, 23) = 7.46$, $p = 0.012$, $\eta_p^2 = 0.24$，表示注意和预期时以交互的方式影响感知；最后，预期主体，预期和注意的三重交互作用显著，$F(1, 23) = 5.21$, $p = 0.032$, $\eta_p^2 = 0.18$，表明当预期主体不同时，预期和注意是以不同的方式共同作用于感知的。另外，对准确率进行相应的方差分析，仅发现了预期主体的主效应显著，$F(1, 23) = 7.45$, $p = 0.012$, $\eta_p^2 = 0.25$，结合准确率和反应时数据，不存在速度–准确性权衡。

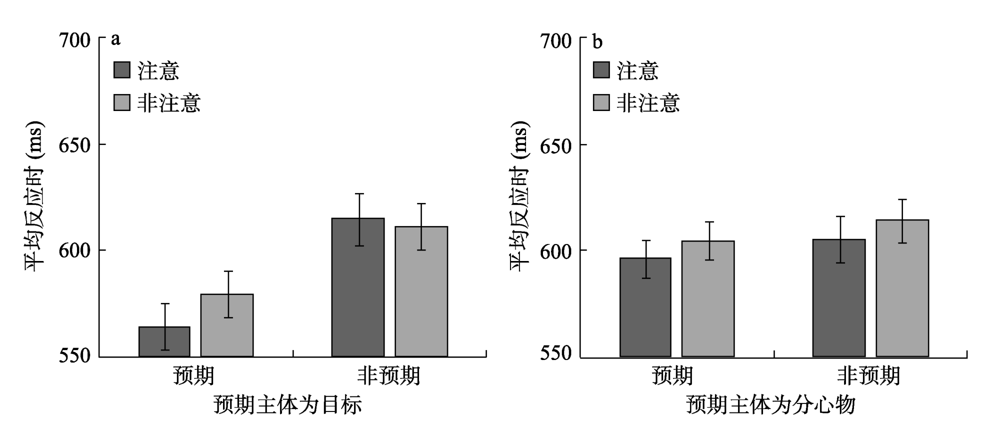


图 6 a. 实验 3 对目标预期时预期和注意对反应时的影响；b. 实验 3 对分心物预期时预期和注意对反应时的影响

由于三重交互作用显著，说明当预期主体锚定在不同的主体上，预期和注意的关系并不相同，所以将预期主体为目标和分心物的数据进行拆分，分别进行 2 (预期：预期 vs. 非预期) × 2 (注意：注意 vs. 非注意)的重复测量方差分析(见图 6)。进一步分析表明，当对目标进行预期时，预期的主效应显著，$F(1, 23) = 54.47$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.70$，预期条件下的反应时快于非预期条件下的反应时(572 ± 12 ms vs. 613 ± 12 ms)，注意的主效应显著，$F(1, 23) = 5.49$, $p = 0.028$, $\eta_p^2 = 0.19$，注意条件下的反应时快于非注意条件下的反应时(589 ± 11 ms vs. 595 ± 11 ms)，预期和注意的交互作用显著，$F(1, 23) = 11.27$, $p = 0.003$, $\eta_p^2 = 0.33$，表现为预期条件下，有显著的注意效应，$t(23) = -4.70$, $p < 0.001$, MD = 15 ms，而在非预期条件下，注意效应不显著，$t(23) = 0.82$, $p = 0.418$, MD = −3 ms，表明注意效应在预期条件下比非预期条件下更大；当对分心物进行预期时，预期的主效应显著，$F(1, 23) = 10.54$, $p = 0.004$, $\eta_p^2 = 0.31$，预期条件下的反应时快于非预期条件下的反应时(601 ± 10 ms vs. 610 ± 11ms)，注意的主效应显著，$F(1, 23) = 10.53$, $p = 0.004$, $\eta_p^2 = 0.31$，注意条件下的反应时快于非注意条件下的反应时(601 ± 11 ms vs. 609 ± 10 ms)，注意和预期交互作用不显著，$F(1, 23) = 0.01$, $p = 0.912$, $\eta_p^2 = 0.0005$，当预期主体为分心物时，预期条件下的注意效应 $t(23) = -3.07$, $p = 0.005$, MD = 8 ms，与非预期条件下的注意效应，$t(23) = -1.99$, $p = 0.059$, MD = 9 ms，无显著差异[2]。

4.3 讨论

实验 3 的结果表明预期主体的不同会影响注意和预期之间的交互作用。当预期主体为目标时，预期条件下注意效应更大，而在非预期条件下无注意效应。而当预期主体为分心物时，预期和注意交互作用不显著。实验 3 的设计避免了实验 2 中双外周提示跨左右视野呈现的问题，得到了与实验 1 一致的结果。因此，根据实验 1 至实验 3 的结果，我们认为，同时跨左右视野出现的注意双外周提示(实验 2)导致注意效应难以产生，因此当预期主体为目标时，没有得到注意和预期的交互作用，而当双外周提示非跨左右视野呈现时(实验 1 和实验 3)，能够观察到注意和预期的交互作用。

[2] 尽管统计上非预期条件下对分心物的注意效应呈边缘显著，但代表该条件的 BF_{10} 显示，数据有 1.15 倍的证据支持注意和非注意条件之间存在显著性差异。

5　实验 4：多分心物情况下预期和注意对目标的影响

以往研究表明，刺激集的大小和任务难度的增加会影响视觉搜索过程，刺激集的大小或任务难度增大会使视觉搜索变慢(Huang & Pashler, 2005; Reimer & Schubert, 2019)。也有研究指出，当任务负载加大时，预期衰减效应会消失(John-Saaltink et al., 2015)。由于实验 1 至实验 3 均为两个刺激的视觉搜素任务，为了探讨任务难度是否会影响预期和注意的关系，实验 4 将通过增加刺激数目以及增大任务难度，继续讨论预期和注意之间的关系。

5.1 方法

5.1.1 被试

共有 26 名被试参与实验 4，年龄范围为 19~23 岁，平均年龄为 20.65 ± 1.09 岁，右利手、视力或矫正视力正常。所有被试自愿参加实验，均签署被试知情同意书，并获得金钱报酬或所修课程学分。共两名被试被剔除数据，一名被试因为报告记错指导语，另一名被试因未完成实验，剩下 24 名被试的数据被纳入分析。

5.1.2 设备和刺激

实验设备与实验 1 相同。

实验刺激为视角 3.9° × 2.4°的红色矩形(CIE: 0.64/0.33, 21.26 cd/cm²)、绿色矩形(CIE: 0.3/0.6, 16.44 cd/cm²)、黄色矩形(CIE: 0.42/0.51, 92.78 cd/cm²)和蓝色矩形(CIE: 0.16/0.06, 8.22 cd/cm²)各一个，矩形边缘到视觉中心的距离为 5.18°，矩形内有一个 0.57° × 0.57°大小的乘号或加号；实验中还会出现外周提示，外周提示为 4 个白色正方形(CIE: 0.31/0.33, 100 cd/cm²)组合形成的空心图形，大小为 1.2° × 1.2°视角。

5.1.3 实验设计

实验采用 2 (注意：注意 vs. 非注意) × 2 (预期：预期 vs. 非预期)的被试内实验设计。预期水平与注意水平的操纵均与实验 1 预期主体为目标组相一致。

5.1.4 实验流程

实验流程与实验 1 基本相似，主要区别为在实验 4 中在刺激屏呈现同时呈现 4 个不同颜色的刺激矩形。目标矩形颜色会在 block 间进行转换。实验开始之前，先要求被试进行练习，练习试次目标颜色在被试间随机分配，练习组一共 20 个试次，练习

试次与正式实验完全相同，以保证被试熟知任务。每种目标颜色进行两组实验，共进行 8 组，每组 80 个试次，并且目标颜色在 block 间随机抽取。

5.2 结果

反应错误试次和反应时小于 150 ms 的试次以及反应时在 3 个标准差以外的试次被剔除，共删除 12.48%的数据。对于反应时进行了 2 (预期：预期 vs. 非预期) × 2 (注意：注意 vs. 非注意)的重复测量方差分析(见图 7)，结果表明预期水平主效应显著，$F(1, 23) = 192.70$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.89$，预期条件下的反应时快于非预期条件下的反应时 (618 ± 12 ms vs. 718 ± 10 ms)；注意水平的主效应显著，$F(1, 23) = 30.36$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.57$，注意条件下的反应时快于非注意条件下的反应时(657 ± 16 ms vs. 678 ± 15 ms)。重要的是，注意水平和预期水平交互作用显著，$F(1, 23) = 8.17$, $p = 0.009$, $\eta_p^2 = 0.26$，表现为预期条件下的注意效应比非预期条件下的注意效应更大(28 ms vs. 16 ms)。另外，对准确率进相应的方差分析，仅发现了预期主体的主效应显著，$F(1, 23) = 24.18$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.51$，结合准确率和反应时数据，不存在速度−准确性权衡。

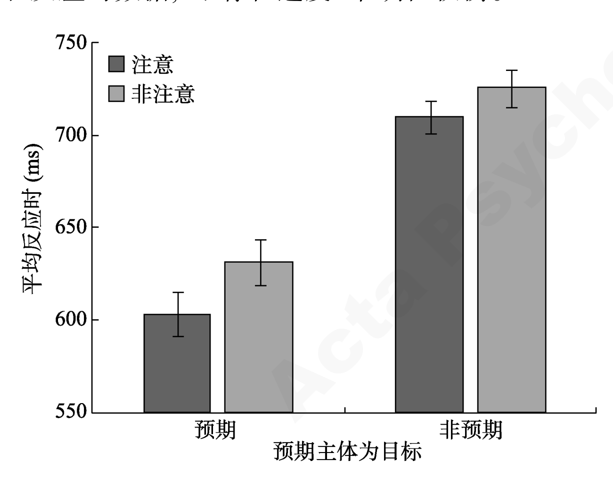


图 7 实验 4 对目标预期时预期和注意对反应时的影响 (4 个刺激)

为了探讨刺激数增多而导致的任务难度加强是否影响预期和注意的交互作用，进一步进行实验间的结果分析。结合实验 1 中预期主体为目标的数据以及实验 4 的数据，进行了 2 (刺激数：2 vs. 4) × 2 (预期：预期 vs. 非预期) × 2 (注意：注意 vs. 非注意)的三因素重复测量方差分析，其中预期条件和注意条件为被试内因素，刺激数为被试间因素。结果显示，刺激数的主效应显著，$F(1, 46) = 9.21$, $p = 0.004$, $\eta_p^2 = 0.17$, 2 个刺激时反应时显著快于 4 个刺激时的反应时(619 ± 11 ms vs. 668 ± 11 ms)，说明刺激数的增加导致任务难度的增加；预期的主效应显著 $F(1, 46) = 339.70$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.88$，表现为预期比非预期条件下的反应时更快(601 ± 8 ms vs. 685 ± 8 ms)；注意的主效应显著，$F(1, 46) = 40.31$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.47$，表现为注意比非注意条件下的反应时更快(635 ± 8 ms vs. 650 ± 8 ms)；注意和刺激数的交互作用显著，$F(1, 46) = 10.79$, $p = 0.002$, $\eta_p^2 = 0.19$，表现为刺激数为 4 的注意效应大于刺激数为 2 的注意效应；刺激数和预期的交互作用显著，$F(1, 46) = 13.71$, $p = 0.001$, $\eta_p^2 = 0.23$，表现为刺激数多时相较于刺激数少时预期效应更大；注意和预期的交互作用显著，$F(1, 46) = 22.41$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.328$，表现为在预期条件下产生的注意效应大于在非预期条件下产生的注意效应。最后，刺激数、预期、注意的三重交互作用不显著，$F(1, 46) = 1.15$, $p = 0.289$, $\eta_p^2 = 0.02$，表明刺激数增加导致的难度增加并未改变预期和注意的交互作用模式。

5.3 讨论

实验 4 重复了实验 1 和实验 3 的结果，即，当面临多个刺激的视觉搜索时，预期和注意依然具有交互作用。具体表现为，在预期条件下，注意效应更大，而在非预期条件下，注意和非注意之间的反应时没有差别。这进一步强化了我们上述实验所得的结论。另外，实验间的分析比较表明，尽管搜索刺激数的增加引起任务难度的增加且导致注意效应的增大，但任务难度增加并没有导致预期和注意的交互作用发生变化，即，不管任务难度高低，当预期主体为目标时，预期和注意都以交互的方式对视觉感知行为产生影响。

6 总讨论

本研究使用外周空间提示与视觉搜索结合的新范式，探讨了预期和注意之间的关系。基于 4 个实验的结果，我们认为预期和注意两者均对认知行为产生影响，并且预期主体不同，注意和预期以不同的方式作用于感知行为。具体而言，当预期主体为目标时，预期可以调节外周提示所引起的注意效应；当预期主体为分心物时，预期和注意以独立的方式作用于感知行为。

6.1 范式创新

在对于预期和注意关系问题的讨论上，一个关键点在于如何正交化操作性定义预期和注意。仅有独立操控两者，才能在避免效应混淆的前提下，清

楚地认识两者的关系。很多研究都在为避免两者效应混淆而努力。例如，在 Kok 等人(2012)的功能磁共振研究以及 Marzecova 等人(2017)的事件相关电位研究中，使用了随机概率的中央提示操控注意，并使其与任务相关，而使用了带概率的组间指导语操控预期，并使其与任务无关。这种操控能避免以往带概率的空间提示范式中，难以将效应归因于预期或注意的问题。但由于在 Kok 等人的操控中，注意与任务相关，而预期与任务无关，因而存在着两者对反应的影响不平衡的问题。为了更好地正交操控两者, Zuanazzi 和 Noppeney (2018)的研究使用了跨视听通道的范式，在听觉通道操纵预期，而在视觉通道操纵注意，虽然这种操控似乎更加清晰地避免了预期和注意的混淆，但以往也有研究表明视听通道存在共用神经通路的情况(Beer & Röder, 2004; Beer & Röder, 2005)，并且跨视听通道研究存在不能在同一模态观察预期机制和注意机制的问题。基于前人的研究，本研究做出了一定的范式改进，使用了外周双提示的形式，将视觉空间进行左右区域和上下区域的划分，并分别在左右区域和上下区域操控预期和注意。由于确定一个刺激位置需要同时知道左右信息和上下信息，并且左右位置信息和上下位置信息本身就属于独立正交关系，所以这种操控在清楚地正交化定义两者的同时，还能同在视觉通道空间维度探讨两者的关系。另外，在本研究的任务为视觉搜索与辨别任务结合的双任务，预期和注意都不与任务直接相关，在某种程度上平衡了预期和注意对于反应的影响权重。因此，我们的实验操控具有一定的创新性，它较好地规避了注意和预期效应混淆的问题，并且能相对公平地考察当两者共同存在且都不与任务直接相关时，如何对感知行为产生影响。

6.2　不同预期主体下预期和注意的关系

在正交化操作性定义两者的基础上，本研究的另一个创新点在于同时关注了对目标的预期以及对分心物的预期，并且发现了预期主体不同时，预期和注意的关系并不相同。Zuanazzi 和 Noppeney (2018)的研究中，分别使预期与任务直接相关或与任务间接相关，实验结果发现了由任务相关性操控的注意与这两种预期的关系并不相同。而本研究虽在预期主体为目标组以及预期主体在分心物组中，预期都未与任务直接关联，但显然，相对于预期分心物组，预期目标组中对于预期的定义与任务的联系更加紧密。所以，尽管我们的研究与 Zuanazzi 的研究中关于预期的操作性定义不同，但相似的结果似乎可以用预期与任务联系的紧密程度解释，即，与任务联系更强的预期会与注意产生交互作用，而与任务联系相对较弱的预期则并不会与注意产生交互作用。

另外，以往有研究认为，应把视觉搜索过程分为对目标的促进和对分心物的抑制两部分，如有研究者提出，目标增强和分心物抑制可以根据需要灵活地引导注意(Chang & Egeth, 2019)。以往研究致力于探讨目标的概率信息对目标识别促进的机制，但近年来也有不少关于分心物的概率信息对视觉搜索影响的研究(van Moorselaar & Slagter, 2019; Wang & Theeuwes, 2018; Wang et al., 2019)。例如，有研究表明，高概率地在某个空间呈现分心物和高概率地在某个空间呈现目标都有利于被试更快地做出反应(van Moorselaar & Slagter, 2019)。这与我们在预期主体为分心物时观察到的预期主效应一致。van Moorselaar 等人还通过脑电研究发现，视觉搜索过程中呈现目标高概率或分心物高概率会产生不完全相同的神经反应，表明目标促进和分心物抑制是两种不完全相同的神经机制(van Moorselaar & Slagter, 2019)。与此一致，本实验结果的一种可能的解释就是，在注意过程中目标促进和分心物抑制是不同的机制，而预期对这两个过程的调节作用不同。

6.3　目标预期与注意的关系

本研究发现当预期主体为目标时，预期和注意存在稳定的交互作用，这表明两者是以交互的范式影响着感知行为；而且，预期条件下的注意效应大于非预期条件下的注意效应。这与前人的研究结果存在相似之处。在 Marzecova 等人的 ERP 研究中，在 N1 波峰后的时间窗口(150 ~ 200 ms)发现了预期和注意具有与交互作用(Marzecova et al., 2018; Marzecova et al., 2017)。而 Kok 等人的 fMRI 研究则支持注意能逆转预期衰减的观点，即在非注意条件下能观察到明显的预期衰减效应，而在注意条件下，注意会锐化预测误差的精度，从而使得在预期条件下，神经信号并不会衰减，注意且预期的神经信号显著大于注意非预期的神经信号(Kok et al. 2012)。本研究通过分析发现不管是注意条件还是非注意条件，预期效应都显著存在，且注意条件比非注意条件下的预期效应量更大。这与前人研究得到的预期和注意的交互作用并不完全相同。以往研究都关注内源性注意与目标预期之间的关系，观察

到的交互作用可使用预测编码理论(Feldman & Friston, 2010; Heilbron & Chait, 2018; Rauss et al., 2011)来解读:自上而下预期和内源性注意交互作用于感知推断，且内源性注意能提高预测误差精度，从而导致在注意条件下，预测衰减现象被逆转。而本研究关注的是自上而下预期与外源性注意的关系，根据预测编码理论，可能在符合预期的条件下，并不需要更新预期模型，从而预期精度较高，外周提示所引起的注意效率也会更高；而在非预期条件下，预期模型需要更新，从而注意效率相对较低。另一种可能的解释是，前文提及的研究为 fMRI 研究和 ERP 研究，而本实验为行为研究；技术手段不同导致观察指标不同，也可能因此导致观察到不完全一致的交互模式。

与我们的研究手段一致, Zuanazzi 和 Noppeney (2018)使用跨视听通道的行为研究，探讨预期和注意如何共同影响感知行为。其结论为，当预期与任务直接相关时，两者交互式影响感知行为，具体表现为：在同为注意的条件下，预期时的反应时显著快于非预期时的反应时；而在非注意条件下，预期时的反应时反而慢于非预期时的反应时。这可理解为注意逆转了预期效应。而在本研究中，尽管注意条件下的预期效应显著大于非注意条件下的预期效应，但却未观察到在非注意条件下预期效应被逆转的结果。出现实验间结果差异的可能性如下。其一，任务与范式不同。本研究在空间提示范式基础上引入了视觉搜索，要求被试进行辨别任务，而 Zuanazzi 等人在空间提示范式下，要求被试进行探测任务。可能探测和辨别任务所需要的认知资源不同，导致预期和注意的交互作用模式不同。其二，本研究的预期和注意都在视觉空间上操控，而 Zuanazzi 等人的研究却是视听跨通道进行。其三，在本研究中，预期和非预期的比例分别为 80%和 20%，而在 Zuanazzi 等人的研究中，两者比例分别为 65%和 35%，本研究中较大的预期效应可能由于预期较强烈而导致了注意只能削弱而难以逆转预期效应。

另外，在本研究中，预期是由概率所引起的自上而下的因素，而注意则是由双外周提示所引起的自下而上的因素，两者的交互作用不能被自上而下驱动或自下而上驱动理论单独解释，而要考虑两方面的共同作用。近年来，研究者们提出了快速脱离理论以及信号抑制理论(张帆 等, 2021; Gaspelin & Luck 2018)。前者认为所有凸显刺激都会第一时间捕获注意，但如果该刺激与自上而下的信息不符，注意则会迅速脱离该位置；后者认为凸显刺激都会产生一种“attend-to-me”的信号，但自上而下机制会抑制这种信号，如果抑制失败，则会发生注意捕获。本研究中，自上而下的信息关乎刺激的空间位置而不是特征，但关于刺激的空间位置信息本来就是刺激所附有的重要的自上而下信息，所有刺激都不能脱离空间位置而存在。以快速脱离理论的视角似乎能够解读本研究中预期和注意的交互结果：当刺激出现在预期的空间位置，即刺激的位置符合自上而下信息时，存在显著的注意效应，这可以解读为与预期相符时，被试并不能对非注意条件下的外周提示产生快速脱离，而在注意条件下，被试的注意力本就被吸引到目标一侧，从而产生了快速反应，造成较大的注意效应；而在非预期条件下，由于不符合自上而下信息，所以被试可以产生快速脱离，从而掩盖了注意效应。另外，从信号抑制理论的视角似乎也能解读这个结果，外周提示给被试传达了“attend-to-me”的信号，当预期条件下，符合自上而下信息，该信号难以被顺利抑制，相反，在非预期条件下，并不符合自上而下信息，该信号便很快被抑制，因而不产生注意效应。似乎这两种理论都能够解释本研究中预期和注意的交互作用，而且，注意并不单纯遵从其中一个理论，自上而下信息和自下而上信息是交互影响感知的。

6.4 分心物预期与注意的关系

我们除了关注目标预期与注意的关系，也关注了分心物预期与注意的关系。当对分心物预期时，预期和注意是以独立的方式作用于感知的。该结果与 Zuanazzi 等人的研究的实验 2 结果相似，我们认为，预期与目标关联程度较低是导致两者独立影响感知的原因。前面已经提及，在视觉搜索的过程中，包含两个过程，其一为对目标识别的促进，其二为对分心物刺激的抑制。在本实验中，预期主体为分心物的部分，预期锚定在分心物上，而注意依然是一个无概率的外周提示，被试通过寻找目标而进行辨别任务。所以，可能是由于人类大脑对目标和对分心物的处理是通过不同的神经机制独立完成的，所以在本研究中，都观察到了在分心物上的预期和注意是以独立(additive)的方式对视觉感知行为产生影响。

6.5 任务难度对于预期和注意关系的影响

有研究表明，任务难度对会视觉搜索产生影响(Huang & Pashler, 2005; Reimer & Schubert, 2019;

John-Saaltink et al., 2015)，但任务难度是否会影响预期和注意的关系并不清楚。为了探讨任务难度是否影响预期和注意两者的关系，我们对比了当预期主体为目标时实验 1 和实验 4 的结果。结果显示，在一定任务难度变化范围内，预期和注意的关系并不会发生变化。有研究表明，当任务难度更大时，为了获取更多的信息，注意焦点的切换会更慢(Chen et al., 2017)。在实验 4 中，任务难度的加大可能会导致被试者需要更多的预期信息和注意信息，因而导致预期和注意两者依然以交互的方式共同影响感知。但我们仅考察了 2 个刺激和 4 个刺激的情况，而在实际生活的场景中，我们面临的刺激数要远远大于这个数字，而且，现实生活往往要面临更复杂的任务，当任务难度进一步加大时，两者是否依然以交互的方式影响感知以及交互的模式是否会发生变化，依然有待验证。

7　结论

(1)预期和注意对视觉感知行为的影响受制于预期主体。当预期主体不同时，预期和注意之间的关系并不相同。

(2)当预期主体为目标时，预期和注意以交互的方式影响视觉感知行为。并且这种模式在一定范围内不受任务难度调节。

(3)当预期主体为分心物时，预期和注意以独立的方式影响视觉感知行为。

参　考　文　献

Alink, A., Schwiedrzik, C. M., Kohler, A., Singer, W., & Muckli, L. (2010). Stimulus predictability reduces responses in primary visual cortex. *The Journal of Neuroscience*, *30*(8), 2960–2966.

Becker, S. I., Lewis, A. J., & Axtens, J. E. (2017). Top-down knowledge modulates onset capture in a feedforward manner. *Psychonomic Bulletin & Review*, *24*(2), 436–446.

Beer, A. L., & Röder, B. (2004). Unimodal and crossmodal effects of endogenous attention to visual and auditory motion. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, *4*(2), 230–240.

Beer, A. L., & Röder, B. (2005). Attending to visual or auditory motion affects perception within and across modalities: An event-related potential study. *European Journal of Neuroscience*, *21*(4), 1116–1130.

Carrasco, M. (2011). Visual attention: The past 25 years. *Vision Research*, *51*(13), 1484–1525.

Chang, S., & Egeth, H. E. (2019). Enhancement and suppression flexibly guide attention. *Psychological Science, 30*(12), 1724–1732.

Cheadle, S., Egner, T., Wyart, V., Wu, C., & Summerfield, C. (2015). Feature expectation heightens visual sensitivity during fine orientation discrimination. *Journal of Vision*, *15*(14), 14.

Chen, A., Wang, A., Wang, T., Tang, X., & Zhang, M. (2017). Behavioral oscillations in visual attention modulated by task difficulty. *Frontiers in Psychology*, *8*, 1630.

Clark, A. (2013). Whatever next? Predictive brains, situated agents, and the future of cognitive science. *Behavioral and Brain Sciences, 36*(3), 181–204.

de Lange, F. P., Heilbron, M., & Kok, P. (2018). How do expectations shape perception?. *Trends in Cognitive Sciences, 22*(9), 764–779.

Egly, R., Driver, J., & Rafal, R. D. (1994). Shifting visual attention between objects and locations: Evidence from normal and parietal lesion subjects. *Journal of Experimental Psychology: General*, *123*(2), 161–177.

Feldman, H., & Friston, K. (2010). Attention, uncertainty, and free-energy. *Frontiers in Human Neuroscience*, *4*, 215.

Gaspelin, N., & Luck, S. J. (2018). The role of inhibition in avoiding distraction by salient stimuli. *Trends in Cognitive Science*, *22*(1), 79–92.

Gilbert, C. D., & Li, W. (2013). Top-down influences on visual processing. *Nature Reviews Neuroscience*, *14*(5), 350–363.

Heilbron, M., & Chait, M. (2018). Great expectations: Is there evidence for predictive coding in auditory cortex? *Neuroscience, 389*, 54–73.

Huang, L., & Pashler, H. (2005). Attention capacity and task difficulty in visual search. *Cognition, 94*(3), B101–111.

Jiang, J., Summerfield, C., & Egner, T. (2013). Attention sharpens the distinction between expected and unexpected percepts in the visual brain. *The Journal of Neuroscience, 33*(47), 18438–18447.

Jiang, J., Summerfield, C., & Egner, T. (2016). Visual prediction error spreads across object features in human visual cortex. *The Journal of Neuroscience, 36*(50), 12746–12763.

John-Saaltink, E. S., Utzerath, C., Kok, P., Lau, H. C., & de Lange, F. P. (2015). Expectation suppression in early visual cortex depends on task set. *PLoS ONE*, *10*(6), e0131172.

Kok, P., Brouwer, G. J., van Gerven, M. A. J., & de Lange, F. P. (2013). Prior expectations bias sensory representations in visual cortex. *The Journal of Neuroscience*, *33*(41), 16275–16284.

Kok, P., Mostert, P., & de Lange, F. D. (2017). Prior expectations induce prestimulus sensory templates. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 114*(39), 10473–10478.

Kok, P., Rahnev, D., Jehee, J. F., Lau, H. C., & de Lange, F. P. (2012). Attention reverses the effect of prediction in silencing sensory signals. *Cerebral Cortex, 22*(9), 2197–2206.

Li, Z., Goschl, F., & Yang, G. (2020). Dissociated neural mechanisms of target and distractor processing facilitated by expectations. *The Journal of Neuroscience*, *40*(10), 1997–1999.

Marzecova, A., Schettino, A., Widmann, A., SanMiguel, I., Kotz, S. A., & Schroger, E. (2018). Attentional gain is modulated by probabilistic feature expectations in a spatial cueing task: ERP evidence. *Scientific Reports, 8*(1), 54.

Marzecova, A., Widmann, A., SanMiguel, I., Kotz, S. A., & Schroger, E. (2017). Interrelation of attention and prediction in visual processing: Effects of task-relevance and stimulus probability. *Biological Psychology, 125*, 76–90.

Petilli, M. A., Marini, F., & Daini, R. (2020). Distractor context manipulation in visual search: How expectations modulate proactive control. *Cognition*, *196*, 104129.

Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 32*(1), 3–25.

Rafal, R. D., Posner, M. I., Friedman, J. H., Inhoff, A. W., &

Bernstein, E. (1988). Orienting of visual attention in progressive supranuclear palsy. *Brain, 111*(2), 267–280.
Rauss, K., Schwartz, S., & Pourtois, G. (2011). Top-down effects on early visual processing in humans: A predictive coding framework. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews, 35*(5), 1237–1253.
Reimer, C. B., & Schubert, T. (2019). More insight into the interplay of response selection and visual attention in dual-tasks: Masked visual search and response selection are performed in parallel. *Psychological Research, 83*(3), 459–475.
Rungratsameetaweemana, N., Itthipuripat, S., Salazar, A., & Serences, J. T. (2018). Expectations do not alter early sensory processing during perceptual decision-making. *The Journal of Neuroscience*, *38*(24), 5632–5648.
Rungratsameetaweemana, N., & Serences, J. T. (2019). Dissociating the impact of attention and expectation on early sensory processing. *Current Opinion in Psychology, 29,* 181–186.
Smout, C. A., Garrido, M. I., & Mattingley, J. B. (2019). Global effects of feature-based attention depend on surprise. *NeuroImage*, *215,* 116785.
Su, Y., Huang, W., Yang, N., Yan, K., Ding, Y., & Qu, Z. (2020). Attentional capture by a color singleton is stronger at spatially relevant than irrelevant locations: Evidence from an ERP study. *Psychophysiology, 57*(10), e13640.
Summerfield, C., & de Lange, F. P. (2014). Expectation in perceptual decision making: Neural and computational mechanisms. *Nature Reviews Neuroscience*, *15*(11), 745–756.
Summerfield, C., & Egner, T. (2016). Feature-based attention and feature-based expectation. *Trends in Cognitive Sciences*, *20*(6), 401–404.
van Moorselaar, D., Daneshtalab, N., & Slagter, H. A. (2021). Neural mechanisms underlying distractor inhibition on the basis of feature and/or spatial expectations. *Cortex, 137*, 232–250.
van Moorselaar, D., & Slagter, H. A. (2019). Learning what is irrelevant or relevant: Expectations facilitate distractor inhibition and target facilitation through distinct neural mechanisms. *The Journal of Neuroscience, 39*(35), 6953–6967.
Wang, B., & Theeuwes, J. (2018). How to inhibit a distractor location? Statistical learning versus active, top-down suppression. *Attention, Perception, & Psychophysics, 80*(4), 860–870.
Wang, B., van Driel, J., Ort, E., & Theeuwes, J. (2019). Anticipatory distractor suppression elicited by statistical regularities in visual search. *Journal of Cognitive Neuroscience, 31*(10), 1535–1548.
Wyart, V., Nobre, A. C., & Summerfield, C. (2012). Dissociable prior influences of signal probability and relevance on visual contrast sensitivity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 109*(9), 3593–3598.
Yantis, S., & Jonides, J. (1984). Abrupt visual onsets and selective attention: Evidence from visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *10*(5), 601–621.
Zareian, B., Maboudi, K., Daliri, M. R., Abrishami Moghaddam, H., Treue, S., & Esghaei, M. (2020). Attention strengthens across-trial pre-stimulus phase coherence in visual cortex, enhancing stimulus processing. *Scientific Reports, 10*(1), 4837.
Zhang, F., Chen, A., Dong, B., Wang, A., & Zhang, M. (2021). Rapid disengagement hypothesis and signal suppression hypothesis of visual attentional capture. *Advances in Psychological Science*, *29*(1), 44–45.
[张帆, 陈艾睿, 董波, 王爱君, 张明. (2021). 视觉注意捕获的快速脱离假说与信号抑制假说. *心理科学进展, 29*(1), 44–45.]
Zuanazzi, A., & Noppeney, U. (2018). Additive and interactive effects of spatial attention and expectation on perceptual decisions. *Scientific Reports, 8*(1), 6732.
Zuanazzi, A., & Noppeney, U. (2019). Distinct neural mechanisms of spatial attention and expectation guide perceptual inference in a multisensory World. *The Journal of Neuroscience, 39*(12), 2301–2312.

The effects of expectation on attention are dependent on whether expectation is on the target or on the distractor?

ZHOU Zinuan, CHEN Yanzhang, FU Shimin

(*Department of Psychology and Center for Brain and Cognitive Sciences, School of Education, Guangzhou University, Guangzhou* 510006, *China*)

Abstract

Both attention and expectation are important mechanisms to help the brain filter and process information in a complex environment. However, there is still no unified conclusion about whether they act interactively or additively on perception. Previous studies that used the spatial cueing paradigm to address this issue might have confounded attention and expectation. Recently, researchers have made efforts to define attention and expectation orthogonally. Using ERP and fMRI techniques, they explored the relationship between endogenous attention and probabilistic expectation in a way that defining attention by task relevance and defining expectation by probability. In the present study, we explored the relationship between exogenous attention and probabilistic expectation, by making clear orthogonal definitions for them. Moreover, previous studies mainly considered the relationship between target expectation and attention. Considering the possible difference between expectation on a target and expectation on a distractor, we also focus on the influence of expected subject in the relationship between expectation and attention.

In the present study, double peripheral cuing combined with visual search paradigm were used to explore the relationship between expectation and attention. We defined attention using peripheral cues without probabilistic information. Attended was defined when a peripheral cue was consistent with the location of the target, and unattended was defined when the peripheral cue was inconsistent with the location of the target. Expectations were defined by using spatial probabilities, and the participants were told beforehand where the stimulus would be more likely to occur through instruction. Four experiments were carried out in this study, and each experiment included 24 valid participants. Before the formal experiment, the participants were told which locations the target would appear more frequently (the distractor was randomly presented) or which locations the distractor will appear more frequently (the target was randomly presented). In a formal trial, the participants were presented with a 500 ms fixation point first, and then there were 50 ms double-cues without any validity probability. After the double-cues disappeared for 150 ms, a target array (consisted of a target and a distractor) appeared for 1000 ms. Participants were asked to find the target and to perform a discrimination task by pressing corresponding keys.

In experiment 1, the double-cues were presented randomly in the left or right visual field, such that attention was manipulated in left or right visual field. In contrast, the participants were expected the targets or distractors to occur more in the upper or lower visual field, that is, expectation was manipulated in the upper or lower visual filed, orthogonal to the manipulation of attention. In Experiment 1, we found that when the expected subject is different (on the target or on the distractor), the relationship between expectation and attention was different. When the target is the expected, expectation and attention influenced performance in an interactive way. However, when the distractor is the expected, they influenced performance in an additive way. In experiment 2, the double-cues were randomly presented in the upper or lower visual field, while the participants were expected the targets or distractors to occur more frequently in the left or right visual field. Contrary to our prediction, under this manipulation of attention, the main effect of attention was not significant. We suspected that this was due to the presence of attention cues across the left and right visual field. Therefore, we improved Experiment 3 by presenting the attention cues with diagonal locations centered on the fixation point, and manipulating the expectation on the orthogonal diagonal location to the attention cues. We replicated the basic findings of Experiment 1 in Experiment 3, that is, when the target was expected, expectation and attention interactively influenced performance. However, when the distractor was expected, expectation and attention influenced performance separately. Furthermore, in order to explore whether task difficulty affects the relationship between expectation and attention, we increased the number of stimuli in Experiment 4. Again, we found that when the target was expected, expectation and attention were interacted in Experiment 4. Moreover, by comparing with Experiment 1, we found that the relationship between expectation and attention did not change as a function of task difficulty.

Our results suggested that when the expected subject is different (on the target or on the distractor), the relationship between expectation and attention was different. Previous studies have suggested that in the process of visual search, the promotion of the target and the inhibition of the distractor are controlled by two different neural mechanisms. Therefore, the relationship between expectation and attention is different when target is the expected subject relative to when distractor is the expected subject.When the target is expected, the interaction between expectation and attention on performance can be explained by predictive coding theory. Under the expected condition, the prediction error is small and there is no need to update the prediction model in the brain, so the efficiency of attention is higher. Under unexpected conditions, the prediction model needs to be updated, which leads to relatively low efficiency of attention. When the distractor is expected, expectation and attention affect performance additively, which may be due to the low correlation between the distractor expectation and the target task, or the processing of the distractor and the target are completed by different neural mechanisms. In conclusion, we believe that when expectation is anchored to different subjects, the relationship between expectation and attention are different. Specifically, when expectation is anchored to the distractor, they influence performance independently, and when expectation is anchored to the target, they are influence performance interactively.

Key words　visual expectation, visual attention, spatial cue, visual search, double peripheral cues